

**CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA EN LAS INSTALACIONES DE
LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA CAMPUS MONTERÍA, PARA EL AÑO
2014**



**YERALDIN CONTRERAS TUIRAN
CINTHYA MARGARITA TORRES PORTO**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA, CÓRDOBA
2016.**

**CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA EN LAS INSTALACIONES DE
LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA CAMPUS MONTERÍA, PARA EL AÑO
2014**

**YERALDIN CONTRERAS TUIRAN
CINTHYA MARGARITA TORRES PORTO**

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de Trabajo de Investigación y/o
Extensión, como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero
Ambiental.**

**Director (s):
GABRIEL ANTONIO CAMPO DAZA, Esp. Ingeniería de Saneamiento
Ambiental.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA, CÓRDOBA
2016.**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

*A Dios, por darme la sabiduría, paciencia y perseverancia para culminar esta etapa en mi vida y dar
inicio a nuevas metas, retos y oportunidades.*

*A mis padres, Jairo y Emma, por brindarme su amor, comprensión, apoyo y consejos que me motivan
a continuar cada día.*

A mi hermana, Katherine por su cariño y apoyo constante e incondicional.

A mi abuela, Laste por todo su cariño y cuidados en mi vida.

*A mi compañera de Tesis, Cinthya por ser mi apoyo, mi polo a tierra, esa persona que me mantuvo
tranquila en todo este proceso.*

A todos mis familiares y amigos por el apoyo mutuo en la formación personal y profesional.

Yeraldin Contreras Tuiran

*A la santísima Providencia por brindarme su infinito amor a través de las personas más importantes
de mi vida; Blas, María, Juan y Arturo.*

A ellos gracias por ayudarme a descubrir que el amor está en todo lo que somos y hacemos.

A mi compañera de tesis, Yeraldin, por ser la luz en los momentos de oscuridad.

*A mi hermosa familia, en especial a mis abuelos Aida, Blas y Juan y a mis primas Aida y María
Fernanda por su apoyo incondicional.*

A mis valiosos amigos, Geraldine, José y Ailyn por su cariño desinteresado.

Cinthya Margarita Torres Porto

Agradecimiento especial:

A el docente Gabriel Antonio Daza, por su apoyo, valiosas orientaciones y acertadas sugerencias.

A los jurados Teobaldis Mercado y Humberto Tavera, por sus valiosas sugerencias al documento final.

A la funcionaria Liliana Barreto López, por su colaboración desinteresada y su apoyo en los procesos administrativos durante la ejecución del proyecto.

A la unidad de Planeación, la sección de almacén, División Financiera, Bienestar Universitario, Programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Córdoba, al laboratorio de la Corporación Autónoma de los Valles del Sinú y San Jorge CVS y a la Universidad Pontificia Bolivariana UPB, por la información suministrada.

Al personal del Laboratorio de aguas de la Universidad de Córdoba, por su apoyo en la fase analítica.

Agradecimientos:

A Katherine Contreras, Liney Monterrosa, Elieth Espitia, Julieth Martínez, María Fernanda González, Luz Andrea Cortés y Vanessa Betín por su apoyo y comprensión durante este proceso.

Finalmente, las autoras agradecen a la planta docente del Departamento de Ingeniería Ambiental por la capacitación académica y a todas las personas que colaboraron de una u otra forma para la ejecución del proyecto de investigación.

TABLA DE CONTENIDO.

	Pág.
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
1.1. ANTECEDENTES	14
1.2. MARCO TEÓRICO	15
1.3. MARCO LEGAL	18
2. METODOLOGÍA	20
2.1. ADAPTACIÓN METODOLÓGICA.....	20
2.2. CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA	22
2.3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
3.1. HUELLA HÍDRICA DIRECTA	36
3.2. HUELLA HÍDRICA INDIRECTA	42
4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	46
4.1. HUELLA HÍDRICA DIRECTA	46
4.2. HUELLA HÍDRICA INDIRECTA	47
5. CONCLUSIONES.....	49
6. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES	51
7. BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	55
LISTADO DE ANEXOS	

ANEXO 1. Consumo de agua Universidad de Córdoba para el año 2014.....	55
ANEXO 2. Dimensiones estanques del CINPIC.....	55
ANEXO 3. Evaporación promedio 1981-2010 estación Universidad de Córdoba y pérdidas por evaporación en los estanques del CINPIC	56
ANEXO 4. Datos del suelo de la Universidad de Córdoba.....	56
ANEXO 5. Promedios climatológicos multianuales con un periodo de 29 años 1981-2010	57
ANEXO 6. Datos de cultivos	58
ANEXO 7. Evapotranspiración verde y azul del cultivo de Maíz en la Universidad de Córdoba- Campus Montería	59
ANEXO 8. Evapotranspiración Verde y Azul del cultivo de Algodón en la Universidad de Córdoba- Campus Montería	60
ANEXO 9. Requerimiento de agua de los cultivos.....	61
ANEXO 10. Componente verde y azul de la Huella Hídrica de los cultivos.....	61
ANEXO 11. Indicadores de Huella Hídrica para el papel	61
ANEXO 12. Cantidad de papel en unidad de masa	61
ANEXO 13. Consumo energía eléctrica de la Universidad de Córdoba año 2014.....	62
ANEXO 14. Indicadores para el cálculo de la Huella Hídrica de la electricidad.....	62
ANEXO 15. Porcentaje de participación por tipo de tecnología	63
ANEXO 16. Porcentaje de participación por tipo de tecnología	63
ANEXO 17. Indicadores de los productos del volumen de agua por unidad de masa	64
ANEXO 18. Cantidad de almuerzos vendidos por tipo de almuerzo	65
ANEXO 19. Cantidad de alimentos por plato	65

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Procesos seleccionados Universidad de Córdoba.....	22
Tabla 2. Datos de entrada para la formula.....	32
Tabla 3. Huella hídrica total	36
Tabla 4. Huella Hídrica directa	37
Tabla 5. Valores de los parámetros de la calidad de agua	40
Tabla 6. Huella Hídrica indirecta	42
Tabla 7. Huella Hídrica Universidad de Córdoba por tipo de central.....	44

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases de la investigación.....	20
Figura 2. Procesos misionales Universidad de Córdoba.	21

RESUMEN

La Huella Hídrica (HH), es un indicador de uso de agua dulce que no solo tiene en cuenta el consumo de agua directa de un consumidor o producto, sino también su uso indirecto. La Universidad de Córdoba por ser una institución pública de educación superior con una población de 11.996 tiene una gran demanda del recurso hídrico por el desarrollo de sus procesos misionales y a su vez por ser considerada un “gran consumidor” por parte de la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado se convirtió en un objeto de estudio de especial interés. Por tal razón se planteó el proyecto de investigación que tiene como objetivo general calcular la HH en el Campus Montería de la Universidad de Córdoba mediante la adaptación de la metodología “The Water Footprint Assessment” determinando así la HH directa e indirecta de los diferentes procesos desarrollados en la institución, dando como resultado que la HH directa fue de $164.963,3 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ y la HH indirecta fue de $443.710,97 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$. Este cálculo permitió saber dónde y cuánta agua se consume, aportando información en cuanto a las causas e impactos de los sitios que produjeron mayor gasto, y la manera en que se pueden reducir y controlar las presiones que se ejercen sobre los mismos, de este modo se logró una base para la formulación de estrategias, para entender el comportamiento del agua y cómo podemos llegar a su gestión.

Palabras claves: indicador, sostenibilidad, indirecta, directa, estrategias.

ABSTRACT

The water footprint (WF) is an indicator of use of freshwater that not only takes into account direct water consumption or a consumer product, but also its indirect use. The University of Cordoba being a public institution of higher education with a population of 11.996 has a high demand of water resources by the development of their mission processes and as well for being considered a "heavy user" by the company providing the water and sewage service became an object of study of particular interest. For this reason the research project's general objective is to calculate the WF in the Monteria Campus of the University of Cordoba by adapting the methodology "The Water Footprint Assessment" thus determining the direct and indirect water footprint of different raised processes developed in the institution, with the result that the direct water footprint was $164.963,3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ and indirect water footprint was $443.710,97 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$. This computation allowed to know where and how much water is consumed, providing information in terms of causes and impacts of the points that produced higher spending, and how you can reduce and control the pressures on them, thereby it was achieved a basis for formulating strategies to understand the behavior of water and how we can manage it.

Keywords: pointer, sustainability, indirect, direct, strategies

INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones a nivel mundial es la escasez de agua y la mala gestión del recurso, lo que presume que en las próximas décadas la escasez del agua se acrecentará notoriamente por las presiones que ejercen el incremento de la población, el aumento de la demanda en los sectores productivos, el crecimiento económico y el cambio climático (Orr et al. 2010; Arévalo 2012; Hoekstra y Ercin 2014; WEF 2014).

Colombia es un país muy privilegiado al ser uno de los países suramericano con mayor disponibilidad de recursos hídricos renovables; la oferta hídrica de Colombia en año medio asciende a $2.300 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$ sin embargo el recurso hídrico se encuentra en riesgo debido al uso indiscriminado del agua, la distribución desigual de la oferta natural del agua, la contaminación de las aguas superficiales, las presiones que ejercen el crecimiento demográfico y las actividades económicas; lo que genera una problemática en cuanto a la oferta de agua para el consumo humano y abastecimiento de las actividades productivas (FUSDA 2008; IDEAM 2010a; MAVDT 2010; OECD/ECLAC, 2014; WEF 2014).

En el marco regional- institucional, según PROACTIVA la Universidad de Córdoba- Campus Montería se encuentra en la categoría de gran consumidor de agua, abasteciendo las necesidades de toda la institución; servicio de alimentación, limpieza, sanitarios, de lavado, riego de cultivos, laboratorios y demás actividades extracurriculares. Al ser un gran consumidor la Universidad de Córdoba se convirtió en un objeto de estudio de especial interés al carecer de estrategias que ayuden a la disminución del consumo de agua y su posterior ahorro.

La HH como indicador de la sostenibilidad, permite saber dónde y cuánta agua se consume y contamina, generando un índice de consumo de agua de la institución, aportando información en cuanto a las causas e impactos a nivel socio-ambiental de los puntos que produjeron mayor gasto, y la manera en que se pueden reducir y controlar las presiones que se ejercen sobre la misma, de este modo se logró una base para entender el

comportamiento del agua y cómo podemos llegar a su gestión (Hoekstra 2008; Arévalo et al. 2011; Hoekstra 2015).

El presente estudio, consistió en calcular la HH a través de la adaptación metodológica propuesta por “The Water Footprint Assessment” determinando así la HH azul, verde y gris de los procesos desarrollados en la Universidad de Córdoba- Campus Montería y posteriormente se plantearon alternativas para la gestión del agua. El cálculo de la HH en la institución buscó generar bases para la gestión sostenible del agua, así como también ayudó a la generación de estrategias que de ser implementadas a corto, mediano y largo plazo disminuirán los costos en los pagos del servicio de agua.

El presente documento se desarrolló a través de tres secciones: la primera describe los aspectos introductorios, los soportes teóricos y las herramientas metodológicas utilizadas, la segunda presenta los resultados y la discusión, y la tercera plantea las conclusiones y estrategias.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1.ANTECEDENTES

Numerosos estudios se han realizado en los últimos años tanto a nivel mundial como a nivel nacional sobre HH en diferentes sectores (agricultura, ganadería, sector pecuario, industria textil, economía) utilizando diferentes metodologías de aplicación, pero por lo general todas con el mismo objetivo final, hacer un uso eficiente del agua y crear estrategias para que esto sea posible.

En su trabajo titulado “*Calculation of water footprint of the iron and steel industry: a case study in Eastern China*” Gu et al. (2015), calcularon la HH para una industria de hierro y acero, donde tuvieron en cuenta tanto la HH directa como la indirecta teniendo en cuenta el ciclo de vida del producto obteniendo como resultado para la HH azul un total de $2,24 \times 10^7 \text{ m}^3$ incluyendo el agua virtual y para la HH gris un total de $6,5 \times 10^8 \text{ m}^3$, los investigadores concluyeron que la empresa estaba en riesgo por debido a la gran huella que dejaba.

En la investigación realizada por Zhi et al.(2015) “*Using gray wáter footprint to verify economic sector's consumption of assimilative capacity in a river basin: model and a case study in the Haihe River Basin, China*”, la HH gris fue empleada para evaluar el consumo de capacidad de asimilación (AC) del Rio Haihe de China ante la descarga de agua residuales. De igual forma proporcionan un método de contabilidad para la HH gris entre sectores económicos, los resultados arrojaron que el total de HH gris es de $3,34 \times 10^{10} \text{ m}^3$, de los cuales un 60% fue atribuido a los habitantes y el resto correspondió a las exportaciones. La HH gris era más grande que el caudal del rio bruto y el flujo de aguas subterráneas. No obstante se concluyó también que los principales sectores con mayor HH gris eran la agricultura, la madera y la industria química.

Rodríguez et al. (2008) realizaron un estudio para la estimación de la huella hídrica de la agricultura Española, el trabajo distingue entre el consumo de agua azul y de agua verde con el fin de obtener unas cifras que reflejen la importancia de cada uso en la producción

agrícola. Los resultados muestran que la huella hídrica de España se sitúa en unos 1.150 m^3 de agua per cápita año^{-1} , siendo el volumen anual total cercano a los 48.000 hm^3 .

En Colombia también se han hecho diversos estudios sobre HH a nivel nacional, uno de ellos fue el Proyecto SuizAgua Colombia, una alianza público-privada para la medición, reducción y divulgación sobre HH. Se analizaron 20 sitios de producción de las 11 empresas socias donde se identificaron como puntos clave de su HH las materias primas y los consumos de energía. El consumo de agua es clave en los sitios localizados en zonas de alto estrés hídrico (Tolú, Sucre y Mamonal, Bolívar).

En el 2014 se realizó la Evaluación multisectorial de la HH en Colombia, teniendo como objetivo cuantificar y evaluar los resultados a partir de las huellas hídricas azul y verde para cuatro sectores económicos: agropecuario, industrial, energético y petrolero; también se incluyeron componentes domésticos. Como resultado obtuvieron una HH azul multisectorial a nivel nacional de $9.925,8$ millones de $\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$ (el sector agropecuario representa el 70,1%). En el caso de la HH verde, el valor total estimado asciende a $300.453,0$ millones de m^3 de agua (las actividades pecuarias asociadas a la ganadería extensiva representan el 81,7% de la HH verde).

Finalmente muy pocos estudio existen sobre el cálculo de la HH en una Universidad, uno de ellos fue en realizado en Chile en la Universidad Tecnológica Metropolitana por Becerra y Barraza (2012), en el trabajo adaptaron la metodología The Water Footprint Assesment a su institución y obtuvieron como resultado que el total de HH Institucional fue de $65,816 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$.

1.2.MARCO TEÓRICO

En el mundo ha existido muy poca reflexión sobre la gestión del agua en cuanto a consumo y contaminación; a lo largo de toda la producción de los bienes y su cadena de suministros. Una mayor comprensión de este fenómeno puede servir como base para

mejorar la gestión de los recursos de agua dulce del planeta y puede ser útil para descubrir la relación entre el uso y el consumo del agua. De esta manera, se pueden generar además, la formulación de nuevas estrategias de gestión del agua, al identificar nuevos factores que pueden influir en el uso adecuado de este elemento (Hoekstra et al. 2009; Kemp et al. 2010).

Actualmente, los indicadores son cada vez más reconocidos como herramienta útil para la formulación de políticas y para la comunicación pública acerca de la transmisión de información sobre los rendimientos de los países y las industrias, en campos como el medio ambiente, la economía, la sociedad o el desarrollo tecnológico (Singh et al. 2012). Los indicadores más utilizados son el Agua Virtual y la HH, estos están relacionados directamente con el uso de agua para la producción de bienes.

El concepto de “agua virtual” fue introducido por el profesor John Anthony Allan a principios de los años noventa (1993), y hace referencia al volumen de agua requerida o contaminada para la producción de un producto o servicio, medida a lo largo de su cadena de suministro; de esta forma, si una nación exporta o importa un producto, se exporta o importa el agua virtual asociada a dicho producto. El contenido de agua virtual de un producto es equivalente a su HH en términos cuantitativos. No obstante, aunque el agua virtual solo se refiere al volumen de agua contenido virtualmente en el producto, la HH ofrece la posibilidad de un análisis multidimensional, que es espacial y temporalmente explícito, orientado a entender la interacción de las actividades antrópicas y la relación del agua con la cuenca (CTA et al. 2015).

El concepto “HH” fue creado en 2002 por Arjen Hoekstra, profesor de gestión de agua en la Universidad de Twente en Holanda y cofundador de Water Footprint Network. Usando datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Hoekstra y otros investigadores determinaron la cantidad de agua utilizada en la elaboración de varios productos, y aplicaron esas estadísticas para calcular la HH de individuos promedio y países enteros (del Valle et al. 2012).

La definición general de HH (“volumen total de agua dulce que se utiliza para producir bienes y servicios”) pareciera indicar un sistema de medición simple, en el que sólo basta saber la cantidad de litros utilizados en cada fase del proceso productivo. Sin embargo, lejos de ser así, el cálculo de la HH es un proceso complejo que debe tener en cuenta distintas variables. Existen clasificaciones, como por ejemplo aquella que mide la relación del recurso hídrico utilizado con el producto que se está elaborando: la HH directa y la indirecta. La primera hace referencia al volumen de agua incorporado al producto en las fases operativas; mientras que la segunda corresponde a la que se utilizó en la cadena de suministros, por ejemplo en la materia prima que sirve de insumo para elaborar el producto (del Valle et al. 2012).

Por otra parte, existe una clasificación basada en el tipo de agua: agua azul, verde o gris. Para la cuantificación de la HH, se parte de la identificación y caracterización de los procesos antrópicos que afectan la cantidad de agua verde o de agua azul, lo que da origen a dos huellas hídricas: la HH azul y la HH verde. Para la componente que muestra la afectación en términos de calidad del agua, se identifican los procesos antrópicos que devuelven parte del agua usada en forma de vertimiento con una calidad diferente al agua captada antes del proceso, dando origen a una reducción de la disponibilidad por afectación de la calidad del agua, lo que genera una HH gris (CTA et al. 2015).

El agua azul es el agua dulce que se encuentra en ríos, lagos, o acuíferos; para usarla es preciso tomarla de sus fuentes y transportarla al lugar de uso. El agua verde es el agua de lluvia que se acumula en el suelo y puede ser absorbida por los cultivos o la vegetación natural. El agua gris es el agua que necesitamos para asimilar los contaminantes hasta las concentraciones que consideramos ambientalmente tolerables (Garrido y Aldaya 2010).

HH azul

La HH azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul, ya sea superficial o subterránea, a lo largo de la cadena de suministro de un producto. En este caso, por “consumo” se entiende “la pérdida de agua de la masa de agua disponible del suelo de la superficie en un área de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora,

vuelve a otra zona de captación o al mar o se incorporan al producto” (Aldaya et al. 2012).

HH verde

Hace referencia al agua almacenada en el suelo, y se cuantifica mediante la estimación del agua evapotranspirada por la vegetación asociada a un proceso antrópico (cultivos) que no tiene como origen el agua de riego (agricultura en secano). La HH verde permite una aproximación numérica a la competencia del sector agropecuario y los ecosistemas naturales a causa de la ampliación de la frontera agropecuaria (CTA et al. 2015).

HH gris

Es un indicador del grado de contaminación del agua dulce que se puede asociar con tal fase del proceso. Ésta se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la cantidad de contaminantes comparado con las concentraciones normales y las normas de calidad de agua. Este concepto ha cobrado relevancia desde que se considera que una forma válida de medir los contaminantes presentes en el agua es definiendo el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes presentes en ella (Aldaya et al. 2012).

1.3.MARCO LEGAL

Para abordar la problemática de la escasez del agua y la importancia de su ahorro en cualquier contexto es fundamental conocer la legislación vigente relacionada con esta temática.

1.3.1. Normativa nacional

- **Ley 373 de 1997:** por la cual se establece el "Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua"; entendiendo este programa como un conjunto de proyectos y

acciones dirigidas que platean y deben implementar los usuarios del recurso hídrico, allí establecidos, para hacer un uso eficiente del agua

- **Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010:** la cual establece los principios, objetivos y estrategias para el manejo del recurso hídrico en el país.

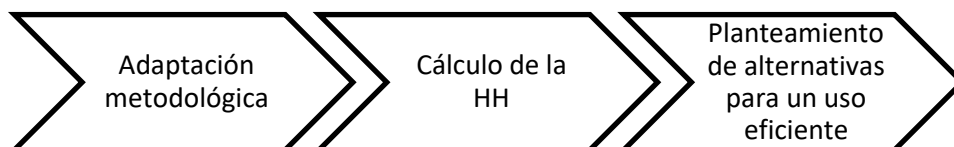
1.3.2. Normas técnicas

- **Norma Internacional ISO 14046:** en la cual se especifican los principios, los requisitos y guía para la evaluación y generación de informes sobre la HH. Se aplicará a productos, procesos y organizaciones basados en evaluaciones de sus ciclos de vida.

2. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento al objetivo general de la investigación fue necesaria la construcción de diferentes fases, las cuales fueron (i) Adaptación metodológica, (ii) Cálculo de la HH (iii) Planteamiento de alternativas para un uso eficiente (ver Figura 1).

Figura 1. Fases de la investigación.



2.1.ADAPTACIÓN METODOLÓGICA

En esta investigación se adaptó la metodología planteada por (Hoekstra et al. 2010) en el Manual de Evaluación de la HH, definiendo una norma global, que tiene como objetivo la HH, este explica el cálculo para la fase de un proceso, un cultivo o un árbol, un producto, una empresa, un grupo de consumidores, un área geográficamente delimitada o una nación, sin embargo el manual no posee una metodología para implementarla en una universidad. Teniendo en cuenta el marco teórico, las investigaciones realizadas y la bibliografía revisada, lo que más se asemejó al proceso funcional de una Universidad es la HH para una empresa, donde se tiene la HH de la cadena operacional (Directa) y la HH de la cadena de suministro (Indirecta).

Para que la institución lleve a cabo su misión es necesario que se den una serie de procesos que son los que permiten el buen funcionamiento de esta. Se seleccionaron aquellos procesos misionales que englobaron la mayoría de las actividades que conlleven a la realización de esos procesos (ver Figura 2) y aquellos factores que hacen posible el funcionamiento de la misma.



Figura 2. Procesos misionales Universidad de Córdoba.

Fuente: Informe de gestión Universidad de Córdoba 2014

2.1.1. Determinación de límites

Fue fundamental considerar los límites organizacionales, por esto sólo se tuvo en cuenta el Campus Montería de la Universidad de Córdoba y todos los edificios que posee dentro de sí, debido a que todos generan consumo; excluyendo todos los procesos administrativos y educativos realizados en las otras sedes de la Universidad. Se consideró la universidad como un sistema integrado dentro de su entorno, con entradas asociadas al consumo de recursos naturales, como lo son el agua, papel y combustibles fósiles (energía eléctrica) y salidas como los vertimientos y pérdidas en los procesos.

Se consideró como HH directa a todos los procesos asociados a la HH azul, verde y gris. Para el caso de la HH azul, se estudió el consumo de agua que registró la Universidad, los requerimientos de riego de los cultivos y las pérdidas por evaporación en el CINPIC. Para la HH verde se tuvo en cuenta solo los cultivos de mayor relevancia en la universidad (maíz y algodón). En cuanto a la HH Gris, se considera el efluente de los vertimientos que se realizaron al

alcantarillado. Para la HH indirecta se consideraron los consumos de papel, electricidad y comida en la cafetería central y de salud para el año 2014

Por último, se excluyeron los procesos productivos (servicios de terceros en la universidad) como lo son los puestos de comidas informales, los procesos relacionados a la construcción de la Universidad y el consumo de los combustibles utilizados (prácticas universitarias). En el caso del papel no se tuvo en cuenta aquellos puntos informales de impresión y fotocopias al interior de la universidad.

Tabla 1. Procesos seleccionados Universidad de Córdoba.

HH Directa	HH Indirecta
<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos. • Consumo de agua. • Vertimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel. • Electricidad. • Comida.

2.2. CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA

2.2.1. Recolección de información

Para la recolección de información relacionada con los procesos escogidos en la Universidad, se solicitó la información a cada una de las áreas encargadas.

- **Papel:** en la sección de almacén se solicitó la información con respecto a la cantidad de papel comprado en el I y II periodo del año de estudio.
- **Electricidad y Agua:** el área de División Financiera suministró los recibos de consumos de energía eléctrica y de agua.
- **Comida:** La cantidad de almuerzos vendidos fue tomada del Informe de Gestión de la universidad de Córdoba para el año 2014 y Bienestar Universitario

proporcionó la información de los tipos de menú que se brindaron para las dos cafeterías del Campus Montería

- **Cultivos:** La información de los tipos de cultivos sembrados en el año de estudio y de su extensión fue suministrada por el Programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Córdoba, los demás datos necesarios para cálculo de la HH de los cultivos fueron consultados en las bases de datos de las entidades IDEAM y FAO.
- **Vertimientos:** Planeación suministro la información con respecto a la ubicación del pozo que descarga las aguas residuales al alcantarillado.

2.2.2. HH directa

La HH directa se calculó de la siguiente forma:

$$HH_{Directa} = HH_{azul} + HH_{Verde} + HH_{gris} [m^3 \text{ año}^{-1}] \quad (1)$$

2.2.2.1. Cálculo de la HH azul

Para la HH azul se tuvieron en cuenta varios procesos, que se muestran en la siguiente ecuación:

$$HH_{azul} = HH_{Consagua, azul} + HH_{Cinpic, azul} + HH_{Cultivo, azul} [m^3 \text{ año}^{-1}] \quad (2)$$

2.2.2.1.1. Cálculo de la HH azul del consumo de agua

Para el caso de la HH azul del consumo de agua, se tuvo en cuenta el valor consignado en los recibos de agua (ver Anexo 1) y el factor de no retorno, siendo este la diferencia del coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas tomado del RAS 2000 (Ministerio de Desarrollo Económico 2000), debido a que los principales usos del agua de acueducto en la universidad son para el aseo de áreas, servicios sanitarios (baños, duchas y lavamanos), uso en los laboratorios, áreas deportivas y cafeterías. Finalmente,

una vez utilizadas son direccionadas al alcantarillado, lo que indica que las pérdidas en estos procesos son mínimas. La fórmula utilizada para el cálculo fue:

$$HH_{consagua} = Consumo\ de\ agua \times FNR [m^3\ año^{-1}] \quad (3)$$

Donde;

$HH_{consagua}$ = HH del consumo de agua

FNR = Factor de no retorno, porcentaje de agua que no retorna a la cuenca (adimensional). En este caso se utilizó 0,20.

2.2.2.1.2. HH azul en los embalses del CINPIC

Para el caso de la HH azul del CINPIC se tuvo en cuenta que estos estanques no realizan ningún tipo de vertimiento al Río Sinú, debido a que una vez estos cumplen con su periodo de función, las aguas son llevadas a un estanque final donde se secan por evaporación, es decir, la HH azul es el total del agua que captan para la cría de peces.

Se identificaron dos tipos de estanques con diferentes dimensiones los estanques para la cría de alevinos y los estanques para la cría de reproductores (ver Anexo 2). Cada uno de estos tiene un periodo de llenado diferente, es por esto que la HH azul se calcula de diferente manera para cada uno.

La ecuación que se utilizó para calcular la HH azul en los embalses del CINPIC fue la siguiente:

$$HH_{CINPIC,azul} = HH_{Alevino} + HH_{Reproductores} [m^3\ año^{-1}] \quad (4)$$

Para $HH_{Alevino}$ el llenado era cada dos meses por lo que la formula quedo de la siguiente manera:

$$HH_{Alevino} = Vol_{estanque} \times N_{estanque} \times 6 [m^3\ año^{-1}] \quad (5)$$

Donde

$HH_{Alevino}$ = HH de los estanques de Alevinos

$Vol_{estanque}$ = Volumen del estanque

$N_{estanque}$ = Número de estanques

Y siendo 6 el número de veces que son llenados los estanques al año.

Para $HH_{Reproductores}$ se realizó el cálculo de una manera diferente ya que en estos estanques se están compensando constantemente las pérdidas por evaporación la ecuación es la siguiente:

$$HH_{Reproductor} = Vol_{estanque} \times N_{estanque} + Evap_{estanque} [m^3 \text{ año}^{-1}] \quad (6)$$

Donde

$HH_{Reproductor}$ = HH de los estanques de reproductores

$Vol_{estanque}$ = Volumen del estanque

$N_{estanque}$ = Número de estanques

La evaporación de los estanques se calculó con la siguiente ecuación tomada del Estudio Nacional de Agua 2014 desarrollado por IDEAM (2015) para calcular las perdidas por evaporación en un estanque:

$$Evap_{estanque,mes} = \frac{E \times AIE}{1000(\text{factor de conversión de unidades})} [m^3 \text{ mes}^{-1}] \quad (7)$$

Donde

E = Evaporación mensual multianual

AIE = Área inundada mensual del total de los embalses

Finalmente se sumaron los valores mensuales y se obtuvo la pérdida total para el año, lo que corresponde a la adición de agua para dichos estanques (ver Anexo 3).

Los datos de evaporación fueron tomados de la base de datos del IDEAM de los promedios climatológicos periodo 1981-2010 para la estación climatológica de la Universidad de Córdoba debido a que no se contaba con información puntual del año de estudio.

2.2.2.2. Calculo de la HH de los cultivos

En la metodología descrita por (Hoekstra et al. 2010) en el Manual de Evaluación de la HH , definiendo una norma global, la HH total del proceso de cultivos es la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$HH_{proC} = HH_{proC, verde} + HH_{proC, azul} + HH_{proC, gris} [m^3 ton^{-1}] \quad (8)$$

En este caso en particular, solo se calcularon el componente azul y verde obteniendo la siguiente ecuación:

$$HH_{proC} = HH_{proC, verde} + HH_{proC, azul} [m^3 ton^{-1}] \quad (9)$$

El componente verde de la HH del proceso de un cultivo ($HH_{proC, verde}$, $m^3 ton^{-1}$) se calculó como el componente verde en el requerimiento de agua de los cultivos (RAC_{verde} , $m^3 ha^{-1}$) dividido por el rendimiento del cultivo (Y , $ton ha^{-1}$), así:

$$HH_{proC, verde} = \frac{RAC_{verde}}{Y} [m^3 ton^{-1}] \quad (10)$$

El componente azul ($HH_{proC, azul}$, $m^3 ha^{-1}$) se calculó de forma similar:

$$HH_{proC, azul} = \frac{RAC_{azul}}{Y} [m^3 ton^{-1}] \quad (11)$$

Los componentes verde y azul en el requerimiento de agua de los cultivos (RAC) se calcularon teniendo en cuenta la acumulación de la evapotranspiración diaria (ET , mm día⁻¹) durante el período de crecimiento completo:

$$RAC_{\text{verde}} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{\text{verde}} [m^3 \text{ ha}^{-1}] \quad (12)$$

Donde;

RAC_{verde} = Requerimiento de agua verde de los cultivos

$\sum_{d=1}^{lgp} ET$ = La suma que se realiza sobre el período comprendido entre el día de la siembra (día 1) hasta el día de la cosecha (lgp es igual a la duración del período de crecimiento en días).

ET_{verde} = evapotranspiración de agua verde

El factor 10 convierte la profundidad del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en m³ ha⁻¹.

$$RAC_{\text{azul}} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{\text{azul}} [m^3 \text{ ha}^{-1}] \quad (13)$$

Donde;

RAC_{azul} = Requerimiento de agua azul de los cultivos

$\sum_{d=1}^{lgp} ET$ = La suma que se realiza sobre el período comprendido entre el día de la siembra (día 1) hasta el día de la cosecha (lgp es igual a la duración del período de crecimiento en días).

ET_{azul} = evapotranspiración de agua azul

El factor 10 convierte la profundidad del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en m³ ha⁻¹.

Con el fin de evitar un cálculo extenso, se utilizó el software CROPWAT 8.0 desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación, este es un programa informático que permite calcular los requerimientos de agua para los cultivos y las necesidades de riego con base a datos de suelo, clima y cultivos. Las opciones que ofrece el modelo para calcular la evapotranspiración son: la

del “requisito de agua de los cultivos” (suponiendo que las condiciones son óptimas) y la “opción de programación de riego” (incluyendo la posibilidad de especificar la oferta de riego en tiempo real) (FAO 2010), para el presente trabajo se calculó la evapotranspiración de referencia utilizando la primera opción.

Los datos requeridos para los módulos del programa se obtuvieron de los promedios climatológicos con un periodo de 29 años 1981-2010 ofrecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) específicamente de la estación Agrometeorológica Universidad de Córdoba ubicada en el municipio de Montería, departamento de Córdoba(ver Anexo 5), las guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO (Allen et al., 2006; Steduto et al., 2012), el Estudio Nacional de Agua 2010 (IDEAM 2010b) (ver Anexo7) y los datos suministrados por el Programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Córdoba (ver Anexo 4).

Como se supone que las necesidades hídricas de los cultivos se cumplen plenamente, la evapotranspiración del cultivo actual (ET_c) será igual a las necesidades de agua de los cultivos: $ET_c = RAC$. El cálculo del RAC fue expresado con base decadiaria (10 días), esto significa que un mes es dividido en tres décadas. (Hoekstra et al. 2010)

La evapotranspiración verde de cada cultivo se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$ET_{\text{verde}} = ET_c - Req. Riego \quad (14)$$

Donde,

ET_{verde} = Evapotranspiración verde
 ET_c = Evapotranspiración de referencia
 $Req. Riego$ = Requerimiento de riego

La evapotranspiración azul de cada cultivo se obtuvo con la siguiente ecuación

$$ET_{\text{azul}} = ET_c - Prec.Efec \quad (15)$$

Donde,

ET_{azul} = Evapotranspiración azul

$Prec.Efc.$ = Evapotranspiración de referencia

$Prec.Efec$ = Precipitación efectiva

Las evapotranspiraciones verdes y azules obtenidas para cada cultivo se pueden ver en los anexos 8 y 9. Una vez se obtuvieron la ET verde y azul, se aplicaron las ecuaciones 12 y 13, respectivamente para obtener el requerimiento de agua de los cultivos (ver Anexo 9).

El valor del requerimiento de riego fue cero en aquellas etapas donde la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración del cultivo, es decir que el agua del suelo necesaria para el desarrollo de la planta se mantiene por la lluvia y no requiere de riego. Se exceptuó el primer valor obtenido (Req. Riego= 3.6) para ambos cultivos, esto se debió a que el programa compensa las desviaciones en los meses máximos y mínimos, llevando a cabo una repetición de valores, cuyo fin es que los tres valores decadiarios sean el promedio de la media mensual de la precipitación.

Los componentes verde y azul de la HH del proceso de crecimiento de los cultivos se calcularon aplicando las ecuaciones 10 y 11 respectivamente, donde el rendimiento; Y, es 3 ton ha⁻¹ para el algodón y 6 ton ha⁻¹ para el maíz (ver Anexo 10).

Para el cálculo de la huella hídrica azul y verde de los cultivos en un año se tomó el valor de la huella hídrica por unidad productiva (m³ ton⁻¹) (componente azul y verde) y se multiplicó por la producción total de cada cultivo en el año de estudio, 12 toneladas para el algodón y 24 toneladas para el maíz.

2.2.2.3. Calculo de la HH gris

Para el cálculo de la HH gris se utilizó la siguiente ecuación;

$$HH_{gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}}{C_{max} - C_{nat}} [m^3 \text{ año}^{-1}] \quad (16)$$

Donde

$Effl$ = es el volumen total del efluente que es descargado ($m^3 \text{ año}^{-1}$)

c_{effl} = es la concentración de la sustancia (DBO_5 , Nitrógeno total) en el cuerpo del efluente ($mg \text{ L}^{-1}$)

$Abstr$ = es el volumen total de agua que es consumida ($m^3 \text{ año}^{-1}$)

c_{act} = es la concentración real del contaminante cuando el agua es utilizada ($mg \text{ L}^{-1}$)

C_{max} = es la concentración máxima aceptable en el cuerpo de agua de descarga ($mg \text{ L}^{-1}$)

C_{nat} = es la concentración del efluente sin intervención antrópica ($mg \text{ L}^{-1}$)

Para la recopilación de información sobre las características de las aguas residuales que salen de la Universidad se tuvo en cuenta un punto; el manhole que recoge todas las aguas que se generan y van directamente al alcantarillado. En el análisis de las aguas residuales se tuvieron en cuenta 2 parámetros DBO_5 y nitrógeno total debido a las características y el origen de las aguas que son generadas por la Universidad.

Para conocer el valor de la concentración de nitrógeno total, se realizó un muestreo en el manhole de forma puntual y se tomó una sola alícuota a las 15:35 el 7 de marzo del 2016, la muestra fue analizada por el laboratorio de aguas de la Universidad de Córdoba. El valor del parámetro DBO_5 fue tomado del estudio realizado por la Universidad Pontificia Bolivariana para el mismo sitio de estudio en el año 2015, debido a que este estudio presenta mayor confiabilidad en los datos ya que tomaron 7 alícuotas cada dos horas. De igual forma se identificaron otros parámetros para así establecer una línea base de la calidad de las aguas residuales que se generan en la Universidad.

Para los análisis anteriores se partió de la suposición de que estas aguas tienen las mismas características que las aguas vertidas años anteriores, ya que las actividades generadas en la universidad siempre son las mismas.

El efluente se calculó como volumen de agua que se descarga al Río, el agua que es captada (*Abstr*) menos el porcentaje de agua que no retorna a la cuenca. El volumen de abstracción para las aguas del alcantarillado fue tomado de los recibos del acueducto. El valor de la concentración del efluente se calculó teniendo en cuenta la eficiencia de remoción de las lagunas de oxidación de la empresa encargada del tratamiento de las aguas residuales en Montería. Esta se asumió del 85% teniendo en cuenta la referencia de remoción de las lagunas de oxidación.

$$C_{effl} = C_{SalidaUniversidad} \times \text{Eficiencia de remoción} \quad (17)$$

Las concentraciones actuales de los contaminantes en el cuerpo de agua receptor se tomaron para los valores de DBO_5 de los monitores realizados por la CVS en la estación Garzones de Montería para el año 2014, y para el valor de Nitrógeno total fue tomado del reporte de la CAN (2013) realizado por el IDEAM en el mismo año en la estación de Montería.

Las concentraciones naturales para la DBO_5 fueron tomadas basados en los valores de las curvas de calidad de agua para una calidad de agua excelente teniendo en cuenta que esto ocurre cuando no hay actividad antrópica. Para el Nitrógeno total fueron tomados del reporte de la CAN (2013) realizado por el IDEAM para el año 2005 y teniendo en cuenta que se considera que un cuerpo de agua es receptor de aportes antrópicos cuando sobrepasa un valor de 1 mg L^{-1} de Nitrógenos Totales (IDEAM 2008). Finalmente los parámetros máximos permisibles para la DBO_5 fueron tomados del art 8 de la resolución 0631 del 2015 de Colombia para la ARD y ARND para los prestadores del servicio público de alcantarillado, en el caso del Nitrógeno Total en Colombia no están reglamentados actualmente para la valoración de la calidad de agua de las aguas

superficiales, es por esto que se tomó lo establecido en la norma de la calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, 2015 de Ecuador.

Tabla 2. Datos de entrada para la formula

DATOS	DBO5	NITROGENO TOTAL
Concentración salida	130,2	98,56
Ceffl mg L ⁻¹	19,53	14,784
Vefluente L año ⁻¹	65.299.200	65.299.200
VabstrLaño ⁻¹	81.624.000	81.624.000
Cactmg L ⁻¹	3	0,72
Cmaxmg L ⁻¹	90	15
Cnatmg L ⁻¹	0,5	0,34

Luego de analizar cada parámetro se tomó el que mayor HH generara con el fin de encontrar un indicador global de contaminación del agua.

2.2.3. HH indirecta

Para el cálculo de la HH indirecta se utilizó la siguiente ecuación

$$HH_{Indirecta} = HH_{papel} + HH_{electricidad} + HH_{comida} [m^3 \text{ año}^{-1}] \quad (18)$$

2.2.3.1. Calculo HH del papel

Para el cálculo se utilizó el valor del indicador estimado por Hoekstra y Chapagain (2006) (ver Anexo 11) y la cantidad de papel comprada en el año 2014 en unidad de masa (ver Anexo 12). La fórmula utilizada para el cálculo fue:

$$HH_{Papel} = Consumopapel \times factor\ de\ conversi\acute{o}n [m^3\ a\tilde{n}o^{-1}] \quad (19)$$

Donde

HH_{Papel} = HH del papel.

$Consumopapel$ = Consumo de papel en el periodo de estudio en unidad de masa

$factor\ de\ conversi\acute{o}n$ = Indicador del volumen consumido de agua por unidad de masa.

2.2.3.2. Calculo HH de la electricidad

Para el cálculo se consolidaron diferentes fuentes de información: Unidad de Planeación Minero Energética UPME, para conocer lo porcentajes de participación de la generación de energía eléctrica por tipo de central, y la Unidad de división financiera de la Universidad de Córdoba para conocer la cantidad de energía consumida en el año de estudio (ver Anexo 13).

Por otra parte, se utilizaron los indicadores de consumo de agua por unidad de generación de energía, definidos en el estudio publicado por la *River Network* (Wilson et al. 2012) para definir la HH de las termoeléctricas y biomasa, para el indicador de viento se tomó el definido en artículo realizado por Gerbens-Leenes et al. (2009) *The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply* y el indicador del estudio *The blue water footprint of electricity from hydropower* (Hoekstra y Mekonnen 2012) para la energía hidroeléctrica (ver Anexo 14). La fórmula utilizada para el cálculo fue:

$$HH_{Elec} = Consumoelec \times \%generaci\acute{o}n \times factor\ de\ conversi\acute{o}n [m^3\ a\tilde{n}o^{-1}] \quad (20)$$

Donde

HH_{Elec} = HH indirecta de la energía eléctrica.

$Consumoelec$ = Consumo de energía eléctrica para el año 2014.

%generación = Porcentaje de generación de energía por tipo de tecnología.
factor de conversión= Indicador del volumen de agua consumida por energía generada por tipo de tecnología.

El inventario consultado en la UPME indicó que para el 2014 la participación en el mercado por tipo de fuentes de abastecimiento se basó principalmente en Agua, Carbón, Gas, Bagazo y Viento (ver Anexos 16 y 17).

2.2.3.3.Calculo HH de la comida

Para el cálculo se consolidaron diferentes fuentes de información para los distintos indicadores definidos en el estudio publicado por la UNESCO-IHE *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, report number 47 and 48 y A global Assessment of the water footprint of farm animal products* (Mekonnen y Hoekstra, 2012, 2010a, 2010b) (ver Anexo 17).

Con la información de la HH de cada producto, la información de la cantidad de almuerzos vendidos y la composición de los platos de comida (ver Anexo 18 y 19), se procedió hacer el cálculo con las siguientes ecuaciones:

$$HH_{plato} = \sum_i^n Cantproducto_i \times Factor\ de\ conversión_i [m^3] \quad (21)$$

Donde

HH_{plato} = HH del tipo de plato de comida
Cantproducto= Unidad de masa de cada producto
factor de conversión= Indicador del volumen de agua consumida por unidad de masa de cada producto.

Luego de calcular la HH de cada plato de comida según su tipo, se multiplico por el número de almuerzos vendidos para ese plato.

$$HH_{Totalplato} = HH_{plato_i} \times \text{Numero de almuerzos}_i [m^3] \quad (22)$$

Donde

$HH_{Totalplato}$ = HH total del tipo de plato de comida

HH_{plato} = HH del tipo de plato de comida

$\text{Numero de almuerzos}$ = Numero de almuerzos vendidos por cada tipo de plato.

Finalmente, cuando se tenga el total de HH de cada uno de los platos se hace la sumatoria de todos estos así:

$$HH_{Comida} = \sum_i^n HH_{Totalplato_i} [m^3 \text{ año}^{-1}] \quad (23)$$

Para este proceso no se tuvo en cuenta el agua incorporada en el momento de la cocción.

2.3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA HH

Luego de evaluar los datos obtenidos se plantearon estrategias para la reducción de la HH en cada uno de los procesos estudiados teniendo en cuenta aquellos procesos más críticos y aquellos que aunque no presentan un riesgo para el recurso a nivel de la cuenca, se puedan disminuir su HH. Esto se realizara con base en las revisiones bibliográficas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Al analizar el resultado de la HH de la Universidad de Córdoba se encuentra que el 27% se genera por la acción directa de los procesos funcionales, mientras que el 73% restante se encuentra en la cadena de suministro o HH indirecta, en la tabla 3 se muestran los valores para cada HH.

Tabla 3. Huella hídrica total

Huella Hídrica	Total (m³ año⁻¹)
Operacional o Directa	164.963,3
Cadena de suministro o Indirecta	443.710,97

3.1.HUELLA HÍDRICA DIRECTA

Para brindar información significativa fue importante analizar la HH directa en cada uno de sus componentes (azul, verde y gris), ya que al evaluarlo en su totalidad no se tendría en cuenta el sentido analítico de cada uno de los procesos y se perdía el valor del concepto en términos de herramienta de gestión para conocimiento de impactos y riesgos hídricos asociados a un proceso determinado (WWF y BAVARIA 2014). Para el cálculo de cada uno de los componente de la HH directa se realizó un análisis de cada uno de los suministro y se cuantifico para cada uno de los procesos de manera independiente.

A continuación en la tabla 4, se presentan los resultados de la HH de cada uno de los procesos.

Tabla 4.Huella Hídrica directa

Proceso	HH Azul (m³ año⁻¹)	HH Verde (m³ año⁻¹)	HH Gris (m³ año⁻¹)
Consumo acueducto	16.324,80	-	61.842,70
CINPIC	53.743,71	-	-
Cultivos	7.328,00	25.724	-
Total	77.396,51	25.724	61.842,70

La HH azul de la Universidad de Córdoba fue de 77.396,51 m³ en el año de estudio, lo que representa un 47% del total de la HH directa, el mayor aporte a esta huella se debe a los grandes volúmenes de agua utilizados en los estanques del CINPIC y a las pérdidas que se presentan en este por evaporación, lo cual representa la HH del proceso 53.743,71 m³. Por otra parte está la HH generada por los servicios sanitarios, deportivos, laboratorios y de alimentación que fue de 16.324,8 m³. Los cultivos también generan una HH azul debido a sus requerimientos de riego cuando las precipitaciones en la zona no son suficientes para satisfacer las necesidades del cultivo (Hoekstra et al. 2010), el resultado del requerimiento de agua azul total para los cultivos de algodón y maíz fue de 1.832 m³ ha⁻¹, que al año corresponden a 7.328 m³.

La HH azul adquiere gran importancia en el análisis puesto que brinda información que ayuda a identificar los riesgos hídricos directos asociados a escasez, competencia y potencial conflicto por el uso del recurso (WWF y BAVARIA 2014). Si comparamos la HH azul obtenida con la oferta hídrica anual del Río Sinú en el peor de los escenarios, es decir, en un año seco esta sería de 13.393 Mm³ (IDEAM 2015) lo que quiere decir que la HH obtenida no supera la oferta hídrica mensual en el Río Sinú. Ahora bien, para el análisis de la HH no solo se puede tener en cuenta la actividad realizada por la universidad ya que en la cuenca convergen diferentes actividades que contribuyen a la extracción de agua en esta, por lo cual se hace necesario realizar un análisis para saber si esta huella es sostenible en la cuenca de la que hace parte en este caso la cuenca media del Río Sinú.

Según Hoekstra et al.(2010), mientras la HH total de una cuenca en un período determinado sea no sostenible, cada contribución específica debe ser considerada como no sostenible, a pesar de que su contribución puede ser relativamente pequeña, es decir, la HH de un proceso es insostenible cuando este se encuentra en una cuenca que haya sido declarada de igual manera.

El Estudio Nacional del Agua realizado en el 2014 por el IDEAM (2015) identifica en que cuencas se presenta competencia por agua azul, este arrojo como resultado para la cuenca media del Río Sinú que la competencia por agua azul estaba en un nivel moderado, es decir, indica que existe evidencia de una situación de uso y no retorno de agua azul que se encuentra entre el 10% y el 20% del total disponible. Lo que indica que si bien en la cuenca existe una gran demanda de agua azul esta no se encuentra en peligro ya que no se consume más de lo que está disponible y por ende la HH azul de la Universidad de Córdoba se considera sostenible ya que no supera la oferta hídrica ni se encuentra en una zona que sea considerada no sostenible.

El resultado del requerimiento de agua verde total para los cultivos transitorios en la Universidad de Córdoba fue de $6.431 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de los cuales $2.935 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ corresponde al cultivo de algodón y $3.496 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ al cultivo de maíz. La HH verde total que generaron los cultivos fue de $1.561 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ donde $978,33 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ corresponde al cultivo de algodón y el $582,67 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ al cultivo de maíz. Para el año 2014 la HH verde total fue de $25.724 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ teniendo en cuenta que al año se producen 12 toneladas de algodón y 24 toneladas de maíz, lo que representa el 16% de la HH directa.

La HH de los cultivos varía dependiendo de la zona y de su climatología; el régimen de lluvias durante el año, al centro y sur del departamento de Córdoba es monomodal con una única época seca de diciembre a marzo y una temporada de lluvias que comienza a incrementarse a partir del mes de abril, alcanzando máximos en julio-agosto-septiembre, y luego disminuyendo hasta el final de año (IDEAM 2010), el promedio anual de precipitación en la ciudad de Montería calculado por el programa CROPWAT

fue de 1.344,7 mm presentando mayores precipitaciones en los meses que van de entre abril y noviembre.

La mayoría de estas precipitaciones fueron aprovechadas total o parcialmente por los cultivos de maíz, cultivado a finales del mes de abril hasta finales del mes de agosto, disminuyendo su HH azul y aumentando su HH verde, caso contrario al cultivo del algodón sembrado a finales del mes de agosto hasta la segunda semana del mes de enero donde las precipitaciones efectivas fueron disminuyendo, aumentando su HH azul, es decir, que se necesitó agua de riego (agua azul) para suplir las necesidades de agua para su crecimiento

Los cultivos realizados en la Universidad de Córdoba (4 hectáreas de maíz y de algodón) y su HH verde ($25.724 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) presentan un bajo porcentaje en comparación a las hectáreas cultivadas en el departamento de Córdoba; 62.348 hectáreas de maíz, 20.852 hectáreas de algodón y la HH verde de la zona hidrográfica del Sinú de $1.030,4 \text{ Mm}^3$.

Si comparamos la HH verde obtenida con la disponibilidad de agua verde del Rio Sinú $10.252,44 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$, esta no la supera. Por otro lado, en el medio Sinú; zona en la que se encuentra comprendido el lugar de estudio, existe un nivel muy alto de competencia por agua verde, pese a esto la HH verde de la Universidad de Córdoba es sostenible debido a que no existe un nivel de competencia crítico. Los rangos fueron determinados a través del Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE), calculado para las zonas hidrográficas del país en el Estudio Nacional de Agua (IDEAM 2015) cuyo valor corresponde 0,97 para la cuenca media del Rio Sinú, esto quiere decir que se evidencia una situación límite donde el uso del suelo agropecuario ya es amplio y va en aumento afectando de manera directa la sostenibilidad de la cuenca y lo que esta dispone para uso de agua verde, que puede llegar a convertirse en no sostenible.

Para la HH gris se tuvo en cuenta el estudio realizado por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), donde se establecían los valores de los parámetros de la calidad de agua que se muestran en la tabla 5, este estudio sirvió como referencia para establecer

una línea base de las características de las aguas residuales que salen de la universidad. Los parámetros Nitrógeno Total y nitritos fueron medidos por el presente estudio.

Aunque los valores de DQO y DBO₅ hayan superado los valores límites máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015, se puede apreciar que la relación DQO/DBO₅ es del orden 1,87, lo indica que este tipo de aguas es de fácil tratamiento mediante procesos biológicos (DQO/DBO₅ < 3) con un alto contenido de sustrato susceptible a una alta biodegradación (UPB 2015). El resto de los valores se encuentran dentro de un rango aceptable lo que indica que las concentraciones lo que quiere decir que se encuentran en un rango de concentraciones de débil a media (UPB 2015). El resto de los valores no fue posible analizarlos, porque aún no se han establecido en la normatividad colombiana valores para estos, a excepción de la temperatura que se encuentra en un valor aceptable.

Tabla 5. Valores de los parámetros de la calidad de agua

Parámetros	Concentración	Valores límites máximos permisibles**
DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	130,2	75
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	243,2	225
S.S.T (mg L ⁻¹)	32	75
Grasas y/o aceites (mg L ⁻¹)	7,11	15
Detergentes (mg L ⁻¹ SAAM)	2,41	-
Sólidos sedimentables (ml L ⁻¹)	0,35	1,5
pH (Unidades)	8,21	5,0 a 9,0
Temperatura (°C)	30,6	-
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)*	98,56	-
Nitritos (mg L ⁻¹)*	3,51	-

* Parámetros monitoreados por esta investigación 2016, los demás fueron tomados del estudio realizado por la UPB en el 2015

** Valores según lo establecido en el capítulo VIII art 16. Vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas al alcantarillado público, de la resolución 0631 de 2015 (para estos valores se tomaron como referencia lo establecido en el capítulo VII ya que no hay parámetros específicos para vertimientos puntuales para universidades.

Fuente: UPB, 2015, Min Ambiente Resolución 0631, 2015

Los parámetros evaluados para el cálculo de la HH gris fueron la DBO_5 y Nitrógeno Total de los cuales se obtuvo como resultado que el parámetro que necesitaba mayor volumen de agua para la dilución de su carga contaminante era el nitrógeno total, esto indico que los aportes de carga orgánica son relativamente pequeños si los comparamos con los aportes de Nitrógeno Total en Universidad de Córdoba, lo cual era de esperarse por el origen de las aguas residuales que se generan.

La HH gris de la Universidad de Córdoba fue de $61.842,70 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ que corresponde al 37% del total de la HH directa, este valor no implica que las normas de calidad del agua se hayan infringido, pero si muestra la parte de la capacidad de Rio Sinú que ya se ha consumido, es decir, la cantidad de agua que se requiere para diluir el aporte realizado por la Universidad posterior a el tratamiento de sus aguas.

Según (Hoekstra et al. 2010) mientras la HH gris calculada sea menor que el caudal de los ríos, se considerará que hay agua suficiente para diluir los contaminantes a una concentración por debajo de la norma. Al comparar el valor obtenido con la oferta hídrica anual año seco para el Rio Sinú, vemos que la HH gris de la Universidad no supera este valor de 13.393 Mm^3 (IDEAM 2015).

Teniendo en cuenta que la universidad de Córdoba no es la única que genera aguas residuales, que en la cuenca del Rio Sinú se presentan diferentes tipos de vertimientos que pueden afectar la capacidad de dilución de la cuenca y que la huella HH gris también se puede evaluar tomándola como un indicador del grado de la contaminación del agua, expresado en términos de volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes existentes en esta (Hoekstra et al. 2010), es necesario conocer el nivel de contaminación que existe en la cuenca para saber que tanto pueden afectar los aportes de aguas residuales realizados por la universidad.

Según el capítulo CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA del Estudio Nacional de Agua 2010 realizado por el (IDEAM 2010b) donde se analiza el índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL) como indicativo de

presión por contaminación en las diferentes sub-zonas hidrográficas, para la zona en estudio el resultado fue que para un año medio se encuentra categoría alta y en un año seco muy alta lo que indica que el sistema hídrico en la zona de estudio tiene una probabilidad alta de sufrir un evento de alteración en la calidad de sus aguas, lo que representa una amenaza en la medida en que incrementa las cargas vertidas por los diferentes sectores que convergen allí y por ende se reduce la capacidad natural de autodepuración del Río. Lo que indica que los aportes de cargas contaminantes realizados en la zona de estudio puede condicionar o afectar la calidad del agua, incluyendo los aportes de aguas residuales realizados por la universidad.

3.2.HUELLA HÍDRICA INDIRECTA

La HH directa no fue posible evaluarla en cada uno de sus componentes azul, verde y gris debido a que no se contaba con información suficiente de cada uno de los componentes para los diferentes procesos evaluados, pero fue de gran importancia evaluarlo en su totalidad debido a que mostro que proceso de la cadena de suministro generaba mayor HH y el porqué del valor de cada una de estas, a continuación en la tabla 6 se muestra el valor de cada una de las HH.

Tabla 6.Huella Hídrica indirecta

Proceso	HH Indirecta (m³ año⁻¹)	%
Papel	19.200,20	4
Electricidad	26.602,53	6
Comida	397.908,24	90
Total	443.710,97	100

El proceso que mayor HH indirecta genera es la comida con un valor de 397.908,24 m³año⁻¹el 90% del valor total de la HH indirecta, esto se debe principalmente a dos factores el consumo y la HH de cada producto consumido. El primero de ellos se debe a que en la Universidad en el año 2014 se vendieron aproximadamente 316.500 almuerzos (Universidad de Córdoba 2014) cada uno de estos compuesto por diferentes alimentos

proteínas, carbohidratos y verduras lo que hace que a mayor consumo de alimentos mayor sea la HH del proceso.

El otro factor hace referencia a que cada uno de los alimentos que componen cada plato de comida vienen de un proceso de producción el cual tiene un requerimiento y un consumo de agua bastante alto ya sea por el proceso de alimentación y crianza de un animal o por el proceso de cultivo de un producto, por ejemplo para producir 1 kg de carne de bovino se genera una HH de $13,3 \text{ m}^3$ (Mekonnen y Hoekstra, 2012) o para producir 1 Kg de arroz se genera un HH de $2,4 \text{ m}^3$ (Mekonnen y Hoekstra 2010a, 2010b) si cada uno de estos valores los multiplicamos por la cantidad de alimento de ese producto en cada plato de comida y luego por el número total de almuerzos vendidos que contienen ese alimento esto generara una HH bastante significativa como lo podemos ver en este estudio.

Para compensar y disminuir la HH de este proceso es necesario proponer medidas de uso y aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las cocinas y la implementación de compras de alimentos que tengan una HH más pequeña, debido a que no es posible disminuir el consumo de alimentos por la importancia que tiene este para la comunidad estudiantil y los trabajadores en general.

Seguido de la HH de la comida está la electricidad con un valor de $26.602,53 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, corresponde al 6% del total de la HH indirecta. Los valores de la HH de la energía eléctrica dependen de diferentes variables la primera de ellas es el consumo de energía eléctrica, a mayor consumo mayor HH; otro factor son los tipos de centrales generadoras y el aporte de cada una de ellas a la generación de energía eléctrica, cada tecnología utilizada tiene una HH específica y un porcentaje de participación diferente. Del valor obtenido de la energía eléctrica el 71,55% provinieron de las centrales hidroeléctricas, el 21,16% de las centrales a gas, el 6,23 % de las centrales de carbón y el resto representado por bagazo y viento (UPME 2014).

En Colombia Según (CTA et al. 2015) la HH de la energía hidroeléctrica es de 287,7 millones de m³ al año, ocupando el primer lugar en cuanto a generación de energía, debido a que el consumo de agua en los embalses constituye un componente no despreciable para la HH. Seguido de esta la HH de las termoeléctricas conformadas por gas y carbón de 5,9 millones de m³ y 4,8 millones de m³ al año respectivamente, lo que hace que exista una concordancia con el valor obtenido. Los datos obtenidos para la Universidad de Córdoba por tipo de central fueron los siguientes:

Tabla 7.Huella Hídrica Universidad de Córdoba por tipo de central

Tipo de central	HH Por tipo de central (m³ año⁻¹)
Agua	19.139,52
Gas	540,34
Carbón	474,94
Bagazo	6.447,72
Viento	0
Total	26.602,53

Estos valores igual que en la universidad de Córdoba se debieron a que por cada GJ generado de energía hidroeléctrica se consume 1,87 m³ (Hoekstra y Mekonnen 2012), para la energía a partir del gas se consume 0,18 m³ y para el carbón se consumen 0,53m³ (Wilson et al. 2012), a pesar de que el carbón tiene mayor HH que la energía generada a partir del gas, su porcentaje de participación a nivel nacional es más bajo lo cual hace que su HH con respecto a la del gas también lo sea.

Aunque las centrales de generación de energía a partir del bagazo presentan una mayor HH; 50 m³ por cada GJ generado (Wilson et al. 2012), con respecto a las otras centrales de energía su porcentaje de participación a nivel Nacional fue de 0,91% (UPME 2014) lo cual es muy pequeño y no influye en el valor total de la HH de la institución. La generación de energía eléctrica a partir del viento no tiene HH (Gerbens-Leenes et al. 2008)pero la participación fue de 0,15 % (UPME 2014) lo cual influye muy poco en la disminución de la HH de la institución.

Para la reducción de la HH indirecta de la electricidad en la Universidad de Córdoba, es necesario enfocarse en medidas que permitan reducir el consumo de energía en la universidad, debido a que es muy difícil controlar las HH de cada una de las centrales generadoras de energía.

Finalmente la HH del papel fue del 19.200,20 m³, el 4% del total de la HH indirecta, este valor se debe al gran consumo de papel que se presenta en la universidad de 9586,86 Kg en el periodo de estudio, este es necesario y tiene una gran demanda dentro de la misma ya que es utilizado en proyectos de investigación, revistas que desarrolla la universidad, convenios con otras entidades y todas sus dependencias lo que influye en su alto consumo. El otro factor que influye es la alta HH que tiene la producción del papel, en el sector industrial en Colombia La HH de la elaboración del papel y cartón ocupa el segundo lugar con un valor de 5,8 Mm³ para el año 2014 (CTA et al. 2015) y este valor nos indica la importancia de analizar este proceso en la institución.

A pesar de que el papel utilizado es ecológico (biodegradable, compostable y reciclable al 100%) este no influye en la disminución de su HH debido a que para su elaboración se hace un aprovechamiento de la fibra de la caña de azúcar (bagazo) dado que este viene de un cultivo y la mayor parte de agua utilizada se requiere en la etapa de silvicultura debido a la evapotranspiración verde y azul del agua, sumado a esto la huella del agua durante la etapa industrial de la producción del papel

Para la reducción HH del papel es necesario la creación de medidas que permitan disminuir el consumo de papel en la Universidad de Córdoba.

4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Con las siguientes medidas se pretende promover el uso sostenible del recurso, estableciendo estrategias de ahorro y evitar la contaminación del agua para así lograr la reducción de la contabilidad de la HH en la Universidad de Córdoba.

4.1.HUELLA HÍDRICA DIRECTA

4.1.1. HH Azul

- Instalar inodoros, urinarios, lavamanos y duchas ahorradores de agua:
 - ✓ Los inodoros con estanque consumen 10 L por descarga
 - ✓ Los inodoros con fluxómetro convencional consumen 6 L por descarga
 - ✓ Los inodoros con fluxómetro LEED consumen 4,8 L por descarga.
 - ✓ Los inodoros con fluxómetro LEED y descarga diferenciada consumen 4,8 L y 3 L por descarga.
- Al usar el bebedero cerrar la llave mientras haces una pausa.
- Cerrar la llave al cepillarse los dientes.
- Comprobar que las llaves no queden goteando.
- Reportar fallas que se vean en llaves y sanitarios.
- Reparar las fugas de agua.
- Promueve la conciencia de cuidar el agua entre tus compañeros.

4.1.2. HH Verde

- Aprovechar las aguas lluvias mediante la recolección de estas para realizar las labores de riego
- Por parte de las entidades encargadas de la gestión del recurso hídrico, realizar estudios que incluyan la disponibilidad de agua verde de tal modo que no exista o se disminuya la competencia por el recurso debido al mal manejo del uso del suelo.

4.1.3. HH gris

- No botar en el sifón productos contaminados como medicamentos, pinturas y aceites.
- No arrojar aceites en el lavaplatos porque la grasa se queda en los desagües colóquelo en un recipiente y tírelo a la basura.
- No utilizar el inodoro como papelería.
- Por parte de las empresas prestadoras del servicio de tratamiento de aguas, mejorar la eficiencia en la remoción de las cargas contaminantes.
- Utilizar detergentes ecológicos para el lavado en general.

4.2.HUELLA HÍDRICA INDIRECTA

4.2.1. HH papel

- Evitar impresión, enviar documentos digitalmente.
- Reutilizar el papel de las impresoras y fotocopadoras, usando ambas caras de la hoja.
- Reciclar en papel utilizado.

4.2.2. HH electricidad

- Implementación de edificios bioclimáticos para aprovechar la luz natural y la ventilación.
- Cambiar bombillos tradicionales por bombillos ahorradores y de alta eficiencia. A parte de consumir menos duran más.
- Donde se tenga instalado tubos fluorescentes, continuar utilizándolos, consumen mucho menos que las bombillas tradicionales.
- Desconectar los aparatos electrónicos cuando no se estén usando.
- No encender todas las luces si no es necesario y apagarlas cuando ya no se estén utilizando.

- Instalar gomas adhesivas en puertas y ventanas mejora el aislamiento para reducir la energía consumida.
- Tener en cuenta el etiquetado energético en los electrodomésticos e incluso en las fuentes de luz como los bombillos. El etiquetado da información sobre el consumo de energía, las clases de eficiencia energética se pueden englobar en 7 categorías desde la letra A hasta la letra G, siendo la A la de más bajo consumo de energía y llegando a la G con mayor consumo de energía.
- Comprar ordenadores que estén dotados de sistemas de ahorro de energía.
- Por parte de las empresas generadoras de energía eléctrica implementar las tecnologías no convencionales que conlleve a tecnologías más limpias, como la iluminación solar.

4.2.3. HH comida

- Reemplazar productos de consumo que tienen una HH grande por productos que tienen una HH más pequeña.
- Consumir menos carne y más vegetales y frutas.
- Elegir alimentos que se produzcan cerca de nuestra ciudad.
- Para compensar la HH realizar aprovechamiento de los residuos orgánicos para su transformación en compost

5. CONCLUSIONES

La metodología propuesta por la Water Footprint fue adaptada para la Universidad de Córdoba y servirá como marco de referencia para la implementación de herramientas adecuados para medir el impacto sobre el recurso hídrico en el sector educativo del país.

La HH azul aunque fue la de mayor valor en la huellas hídrica directa, no representa riesgo para la disponibilidad de agua azul en la cuenta por ser esta sostenible.

La huella verde aunque fue la de menor valor de la HH directa, presenta riesgo para la disponibilidad de agua verde en la zona de estudio por estar a punto de ser insostenible.

No se pudo determinar si la HH gris era no sostenible o sostenible en la cuenca, pero se estableció un valor de referencia tanto en aspecto de calidad como de cantidad de agua generada en la universidad, lo cual permitió un primer acercamiento para la determinación de posibles riesgos que puede generar una actividad educativa en la calidad de agua de la cuenca.

El proceso que mayor HH indirecta generó fue el de la comida con un 90% debido a los grandes consumos que se presentan en la Universidad de alimentos y la gran HH en todo su proceso de producción.

No se pudo determinar la sostenibilidad de los procesos que conforman HH indirecta debido a que no se conocía con certeza la zona de actuación de cada uno de estos, pero fue posible determinar en qué procesos se genera mayor consumo de agua indirecto.

Uno de los mayores errores es que las organizaciones basan sus estudios de sostenibilidad ambiental con mediciones de las cantidades de agua directa que consumen, con este estudio pudimos determinar que la cantidad de agua utilizada va más allá del consumo directo y que en este caso la cadena de suministro dejó una HH mayor que la que se genera en el proceso operacional.

La HH de un proceso pocas veces da origen a un problema de escasez de agua o contaminación, los problemas se ven evidenciados cuando existe una acumulación de todos los procesos que engloban una área en específico, es decir, para determinar la sostenibilidad de los procesos de la Universidad o en su defecto distinguir u apreciar un problema real directamente relacionado con el recurso agua conviene analizar todos los procesos que hagan un uso directo o indirecto del mismo para desarrollar sus actividades, delimitando el área y el tiempo de estudio.

6. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

Los aspectos metodológicos en el manual de la Water Footprint Network son muy generales y no son aplicables directamente a un proceso educacional. Pero fue posible realizar el ajuste en la metodología para que pueda ser utilizada para futuras investigaciones.

Una de las mayores limitaciones fue la carencia de información primaria y secundaria, el mantenimiento de las bases de datos, es importante contar con información del proceso educativo y de todos los insumos que se necesitan para el funcionamiento de este.

Es importante conocer de manera exacta la procedencia y origen del papel de impresión, teniendo en cuenta el origen y tipo de árbol que fue cultivado, es un aspecto clave para conocer el factor de conversión utilizado en la cuantificación.

Se recomienda la implementación de las estrategias propuestas en este trabajo para así generar una disminución en la HH de la Universidad.

De implementarse las alternativas o en consecuencia llevar a cabo un plan de ahorro y uso eficiente del agua dentro de la institución, este se verá reflejado en los costos, es decir, una disminución en el pago de los recibos del agua y electricidad.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Aldaya, M., Chapagain, A., Hoekstra, A., Mekonnen, M., 2012. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. London, UK.
- Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO: Riego y drenaje. Food & Agriculture Org, Roma.
- Arévalo, D., 2012. Una mirada a la agricultura de Colombia desde su HH . Cali, Colombia.
- Arévalo, D., Lozano, J., Sagobal, J., 2011. Estudio nacional de HH Colombia Sector Agrícola. Rev. Int. Sostenibilidad Tecnol. Humanismo (7), 101–124.
- Becerra, C., Barraza, V., 2012. Estimación de la HH de la Universidad Tecnológica Metropolitana, para el año 2012. Universidad Tecnológica Metropolitana.
- CAN, 2013. Manual de Estadísticas Ambientales. COMUNIDAD ANDINA, Bogotá D.C., Colombia.
- CTA, GSI-LAC, COSUDE, IDEAM, 2015. EVALUACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HH EN COLOMBIA Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014, 1st ed. Editorial CTA, Medellín, Colombia.
- del Valle, I., Castro, R., Vagliente, A., 2012. La medición de HH : Eficiencia + responsabilidad social ambiental. Argentina.
- FAO, 2010. Model, Food and Agriculture Organization of the United Nations, CROPWAT. Rome, Italy.
- FUSDA, 2008. Medio ambiente y desarrollo: hacia un manejo sustentable del agua. Rev. Nueva Visión Soc. Democrática (1), 35–42.
- Garrido, A, Aldaya, M, 2010. Entrevista a Alberto Garrido y Maite Aldaya sobre la HH . ECODES, Madrid.
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A., Meer, T. van der, 2009. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. Ecol. Econ. 68, 1052 – 1060. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A., Meer, T. van der, 2008. Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers (No. 29), The Value of Water Research Report Series. UNESCO-IHE, Netherlands.
- Gu, Y., Xu, J., Keller, A., Yuan, D., Li, Y., Zhang, B., Weng, Q., Zhang, X., Deng, P., Wang, H., Li, F., 2015. Calculation of water footprint of the iron and steel industry: a case study in Eastern China. J. Clean. Prod. 92, 274–281. doi:10.1016/j.jclepro.2014.12.094
- Hoekstra, A., 2015. The water footprint of industry, in: Klemeš, J.J. (Ed.), Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability. Elsevier, EE.UU, pp. 221–254.
- Hoekstra, A., 2008. Water Neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints. UNESCO-IHE, Amsterdam.
- Hoekstra, A., Aldaya, M., Chapagain, A., Mekonnen, M., 2010. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. London, UK.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resour. Manag. 21, 35–48. doi:10.1007/s11269-006-9039-x

- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., Mekonnen, M., 2009. Water Footprint Manual : State of the Art 2009 131.
- Hoekstra, A., Erkin, A.E., 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. Elsevier Environ. Int. 64, 71–82.
- Hoekstra, A., Mekonnen, M., 2012. The blue water footprint of electricity from hydropower. Hydrol Earth Syst Sci 16, 179–197. doi:10.5194/hess-16-179-2012
- IDEAM, 2015. Estudio Nacional del Agua 2014. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, 2010a. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C.: Colombia.
- IDEAM, 2010b. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C.
- IDEAM, 2010c. Promedios Climatológicos Período 1981- 2010.
- IDEAM, 2010d. Valores medios multianuales de velocidad del viento Período 1981-2010.
- IDEAM, 2008. Nitrógenos Totales: Reporte al Sistema de Información del Medio Ambiente -SIMA- de los países de la Comunidad Andina - CAN- (Reporte del indicador No. 3). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: Subdirección de Hidrología: Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental, Bogotá D.C., Colombia.
- Kemp, D., Bond, C.J., Franks, D.M., Cote, C., 2010. Mining, water and human rights: making the connection. J. Clean. Prod. 18, 1553–1562. doi:10.1016/j.jclepro.2010.06.008
- MAVDT, 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, D.C.:Colombia.
- Mekonnen, M., Hoekstra, A., 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Ecosystems 15, 401–415. doi:10.1007/s10021-011-9517-8
- Mekonnen, M., Hoekstra, A., 2010a. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. VOLUME 2: APPENDICES (No. 47), Value of Water Research Report. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Mekonnen, M., Hoekstra, A., 2010b. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. VOLUME 2: APPENDICES (No. 48), Value of Water Research Report. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Ministerio de Desarrollo Económico, 2000. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES, in: REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000, SECCIÓN II. Bogotá D.C., Colombia.
- OECD/ECLAC, 2014. Environmental Performance Reviews: Colombia 2014, in: OECD Environmental Performance Reviews. OECD, pp. 19–37. doi:10.1787/9789264208292-en,10.1787/9789264213074-es
- Orr, S., Cartwright, A., Tickner, D., 2010. Guía sobre las consecuencias de la escasez de agua para el gobierno y las empresas. WWF, Reino Unido.
- Peña, V., María, V., 2013. Cálculo de la HH : Hacia un desarrollo local sustentable. Universidad del Bosque.

- Rodríguez, R., Garrido, A., Llamas, M., Varela, C., 2008. La huella hidrológica de la agricultura española. Fundación Marcelino Botín, España.
- Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K., Dikshit, A.K., 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol. Indic.* 15, 281–299. doi:10.1016/j.ecolind.2011.01.007
- Steduto, P., Hsiao, T., Raes, D., Fereres, E., 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua, Estudio FAO: Riego y drenaje. Food & Agriculture Org, Roma.
- Universidad de Córdoba, 2014. Informe de Gestión 2014.
- UPB, 2015. INFORME DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS LAC-DR-15-026 (Informe No. 26). Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Córdoba, Colombia.
- UPME, 2014. Generación de energía. Sistema de Información Eléctrico Colombiana. UPME, Colombia.
- WEF, 2014. Riesgos Globales del Foro Económico 2014, Novena. Ginebra, Suiza.
- Wilson, W., Leipzig, T., Griffiths-Sattenspiel, B., 2012. The Water Footprint of Electricity. River Network, Portland, Oregon.
- WWF, BAVARIA, 2014. HH en Bavaria: Identificando riesgos para la construcción de una estrategia de custodia del agua.
- Zhi, Y., Zhifeng, Y., Yin, X., Hamilton, P., Zhang, L., 2015. Using gray water footprint to verify economic sectors' consumption of assimilative capacity in a river basin: model and a case study in the Haihe River Basin, China. *J. Clean. Prod.* 92, 267–273.

ANEXOS

ANEXO 1. Consumo de agua Universidad de Córdoba para el año 2014

Mes	Consumo (m ³)
Enero	7.292
Febrero	7.390
Marzo	6.899
Abril	6.825
Mayo	7.918
Junio	6.079
Julio	7.778
Agosto	6.008
Septiembre	6.696
Octubre	6.454
Noviembre	6.510
Diciembre	5.775
TOTAL	81.624
Fuente: División Financiera de la Universidad de Córdoba, 2016	

ANEXO2. Dimensiones estanques del CINPIC

Dimensiones	Reproductores	Alevinos
Número	8	15
Ancho (m)	20	15
Largo (m)	30	25
Profundidad (m)	1,2	1,2
Volumen (m ³)	720	450
Volumen Total (m³)	5.760	6.750
Fuente: CINPIC, 2016		

ANEXO 3. Evaporación promedio 1981-2010 estación Universidad de Córdoba y pérdidas por evaporación en los estanques del CINPIC

Meses	Evaporación (mm)	Perdidas (m³)
Enero	139,2	668,049231
Febrero	148,8	714,4704
Marzo	160,3	769,587692
Abril	140,4	674,1312
Mayo	125,3	601,273846
Junio	117,5	563,875556
Julio	131,9	633,286154
Agosto	129,0	618,9696
Septiembre	115,4	554,0928
Octubre	118,0	566,270769
Noviembre	111,4	534,624
Diciembre	121,9	585,083077
Total		7.483,71432
Fuente: IDEAM y elaboración propia.		

ANEXO 4. Datos del suelo de la Universidad de Córdoba

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	250 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	118 mm/día
Profundidad radicular máxima	200 centímetros
Agotamiento inicial de humedad de suelo (como % de ADT)	9%
Humedad de suelo inicialmente disponible	227,5 mm/metro
Fuente: Programa de Ingeniería Agronómica	

ANEXO 5. Promedios climatológicos multianuales con un periodo de 29 años 1981-2010

ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA: UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA						
Código: 13075050	Elevación: 15m		Longitud: 75°51'41.5"W		Latitud: 8°47'38.0"N	
Mes	TempMín (C°)	TempMáx (C°)	Humedad (%)	Viento (m/s)*	Insolación (horas)	Precipitación (mm)
Enero	22,7	33,2	81	1,4	7,6	11,7
Febrero	23	33,7	80	1,7	7,2	16,5
Marzo	23,7	33,7	78	1,9	6,2	30,0
Abril	24,1	33,4	81	1,8	5,3	116,2
Mayo	23,9	32,4	84	1,3	4,8	175,5
Junio	23,8	32,4	85	1,3	5,3	163,1
Julio	23,6	32,5	84	1,4	6,3	156,3
Agosto	23,5	32,5	84	1,4	6,0	180,9
Septiembre	23,2	32,0	85	1,3	5,0	202,9
Octubre	23,5	31,9	85	1,3	5,3	153,0
Noviembre	23,4	32,0	85	1,3	6,0	103,8
Diciembre	23,2	32,5	84	1,1	6,2	34,9
*los valores medios multianuales de velocidad del viento en m/s se obtuvieron de la estación Apto. Los Garzones ubicada en el municipio de Montería, departamento de Córdoba, Código: 1308504, Longitud: 75°49'30.5"W, Latitud: 8°49'33.0"N						
Fuente:(IDEAM, 2010c, 2010d)						

ANEXO 6. Datos de cultivos

DATOS DE CULTIVOS PARA EL CALCULO DE LA HH VERDE EN LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA- CAMPUS MONTERÍA				
Cultivo	Etapas	Algodón	Maíz	Fuente
Fecha de Siembra		30/08/2014	30/04/2014	PIA*
Coefficiente de cultivos Kc	Inicial	0,45	0,30	IDEAM 2010
	Media	1,15	1,20	
	Final	0,75	0,50	
Etapas de Crecimiento (días)	Inicial	20	20	PIA
	Media	30	30	
	Desarrollo	50	40	
	Final	40	30	
Profundidad radicular (m)	Inicial	0,20	0,45	(Allen et al. 2006;
	Final	1,70	1,70	Steduto et al. 2012)
Fracción de agotamiento critico (p)	Inicial	0,65	0,55	(Allen et al. 2006)
	Media	0,65	0,55	
	Final	0,65	0,55	
Factor de respuesta del rendimiento (y)	Inicial	0,20	0,40	(Steduto et al. 2012)
	Media	0,50	1,50	
	Desarrollo	0,4	0,50	
	Final	0,25	0,20	
	Durante todo el periodo	0,85	1,25	
Altura del cultivo (m)	Media	3,0	2,8	(Allen et al. 2006)
*Programa de Ingeniería Agronómica				

ANEXO 7. Evapotranspiración verde y azul del cultivo de Maíz en la Universidad de Córdoba- Campus Montería

Mes	Década	Etap	K _c	ET _c	ET _c	Prec. Efec	Req.Riego	ET _{verde}	ET _{azul}
			Coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/periodo	mm/periodo
Abr	3	Inic	0,3	1,22	1,2	3,6	1,2	0	1,2
May	1	Inic	0,3	1,17	11,7	39,7	0	11,7	0
May	2	Des	0,3	1,14	11,4	43,8	0	11,4	0
May	3	Des	0,49	1,85	20,3	42,6	0	20,3	0
Jun	1	Des	0,78	2,94	29,4	40,8	0	29,4	0
Jun	2	Med	1,05	3,94	39,4	40,1	0	39,4	0
Jun	3	Med	1,12	4,35	43,5	39,8	3,7	39,8	3,7
Jul	1	Med	1,12	4,47	44,7	39	5,7	39	5,7
Jul	2	Med	1,12	4,58	45,8	38,4	7,4	38,4	7,4
Jul	3	Fin	1,11	4,54	49,9	39,9	10	39,9	10
Ago	1	Fin	0,93	3,79	37,9	41,7	0	37,9	0
Ago	2	Fin	0,7	2,85	28,5	42,9	0	28,5	0
Ago	3	Fin	0,5	1,98	13,9	27,9	0	13,9	0
					377,6	480,3	28,1	349,6	28
Fuente: CALCULOS CROPWAT, 2016									

ANEXO 8. Evapotranspiración Verde y Azul del cultivo de Algodón en la Universidad de Córdoba- Campus Montería

Mes	Década	Etap	K _c	ET _c	ET _c	Prec. Efec	Req.Riego	ET _{verde}	ET _{azul}
			Coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/periodo	mm/periodo
Ago	3	Inic	0,45	1,79	3,6	8	3,6	8	3,6
Sep	1	Inic	0,45	1,74	17,4	45,7	0	17,4	0
Sep	2	Des	0,46	1,71	17,1	47,1	0	17,1	0
Sep	3	Des	0,6	2,25	22,5	44,2	0	22,5	0
Oct	1	Des	0,81	2,98	29,8	41,1	0	29,8	0
Oct	2	Med	1	3,69	36,9	38,8	0	36,9	0
Oct	3	Med	1,06	3,88	42,6	35,5	7,1	35,5	7,1
Nov	1	Med	1,06	3,86	38,6	32,8	5,7	32,9	5,8
Nov	2	Med	1,06	3,84	38,4	30	8,4	30	8,4
Nov	3	Med	1,06	3,81	38,1	23,7	14,4	23,7	14,4
Dic	1	Fin	1,05	3,76	37,6	15,9	21,7	15,9	21,7
Dic	2	Fin	0,98	3,47	34,7	9,5	25,2	9,5	25,2
Dic	3	Fin	0,88	3,27	36	7,6	28,4	7,6	28,4
Ene	1	Fin	0,77	3,04	30,4	5,4	25	5,4	25
Ene	2	Fin	0,7	2,87	17,2	1,6	15,9	1,3	15,6
					440,9	386,9	155,5	293,5	155,2
Fuente: CALCULOS CROPWAT, 2016									

ANEXO 9. Requerimiento de agua de los cultivos

Cultivo	RAC _{verde} (m ³ ha ⁻¹)	RAC _{azul} (m ³ ha ⁻¹)
Maíz	3.496	280
Algodón	2.935	1.552
Fuente: Elaboración propia		

ANEXO 10. Componente verde y azul de la Huella Hídrica de los cultivos

Cultivo	HH _{verde} (m ³ ton ⁻¹)	HH _{azul} (m ³ ton ⁻¹)
Maíz	582,67	46,67
Algodón	978,33	517,33
Fuente: Elaboración propia		

ANEXO 11. Indicadores de Huella Hídrica para el papel

Tipo de hoja	Unidad de masa por hoja (gr)	Indicador (l)	Indicador (m ³)
1 hoja A4 (80gr/m ²)	4,9896	10*	0,01
1 hoja Carta (75gr/m ²)	4,5241	9,06	0,00906
1 hoja Oficio (75gr/m ²)	5,346	10,71	0,01071
*Fuente: (Hoekstra y Chapagain, 2006)			

ANEXO 12. Cantidad de papel en unidad de masa

Tipo	# de Resmas	Cant. de hojas por resma	Unidad de masa total (gr)
carta	3.821	500	8.643.293,05
Oficio	353	500	943.569
Fuente: División de asuntos financieros sección de almacén Universidad de Córdoba y elaboración propia			

ANEXO 13. Consumo energía eléctrica de la Universidad de Córdoba año 2014

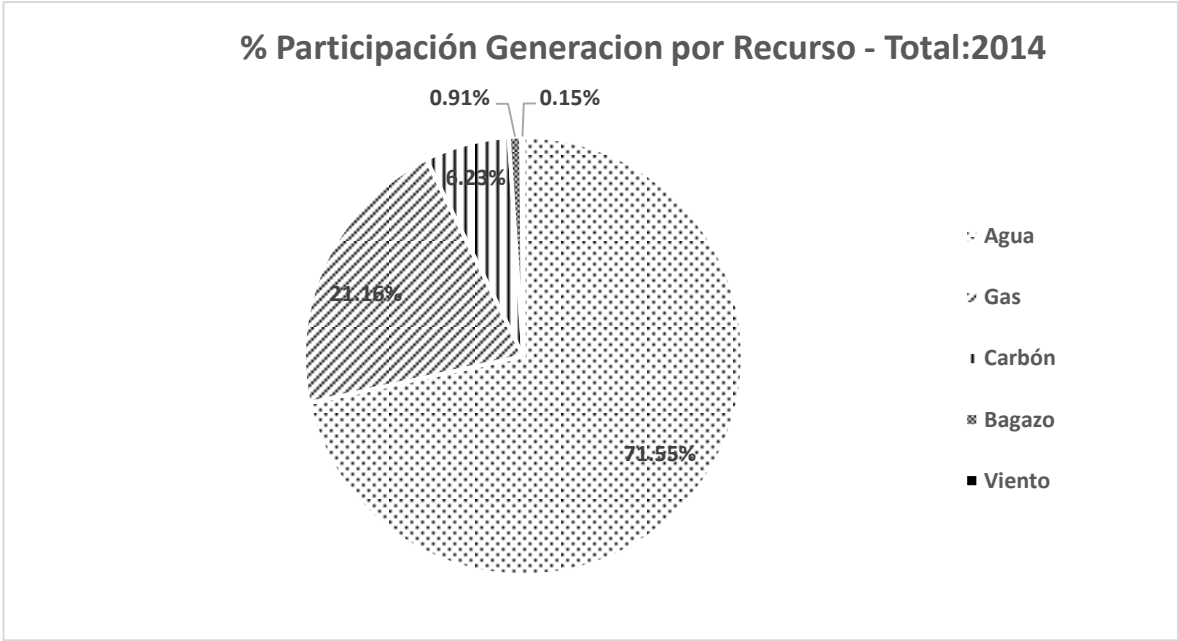
MES	CONSUMO	
	kWh-Mes	GJ-mes
Enero	190.915	687,294
febrero	377.329	1358,3844
Marzo	417.561	1503,2196
Abril	368.045	1324,962
Mayo	406.198	1462,3128
Junio	285.048	1026,1728
Julio	251.149	904,1364
Agosto	352.856	1270,2816
Septiembre	414.255	1491,318
Octubre	367.052	1321,3872
Noviembre	331.465	1193,274
Diciembre	218.204	785,5344
TOTAL	3.980.077	14.328,2772
Fuente: División de asuntos financieros sección de almacén Universidad de Córdoba		

ANEXO 14. Indicadores para el cálculo de la Huella Hídrica de la electricidad

TIPO DE CENTRAL	INDICADOR (m³/GJ)
Agua^a	1,87*
Gas^b	0,18
Carbón^b	0,53
Bagazo^b	50
Viento^c	0

^a**Fuente:** (Hoekstra y Mekonnen, 2012)
^b**Fuente:**(Wilson et al., 2012)
^c**Fuente:** (Gerbens-Leenes et al., 2009)
*Para este indicador se tomó la media de los valores de las tres plantas de estudio en el informe (San Carlos, Playas y Chivor, La esmeralda)

ANEXO 15. Porcentaje de participación por tipo de tecnología



Fuente: UPME

ANEXO 16. Porcentaje de participación por tipo de tecnología

TIPO DE CENTRAL	% PARTICIPACIÓN
Agua	71,56
Gas	21,16
Carbón	6,23
Bagazo	0,91
Viento	0,15
Fuente: UPME, 2014	

ANEXO 17. Indicadores de los productos del volumen de agua por unidad de masa

Producto	(l Kg⁻¹)	(m³ Kg⁻¹)
Pastas secas	2.243**	2,243
Arroz	2.435	2,435
Papa	305	0,305
Ñame	344	0,344
Tubérculo no especificado (Yuca)	272	0,272
Azúcar de caña de azúcar	1.204	1,204
Frijoles Rojos	5.053*	5,053
Alverjas	3.754	3,754
Lentejas	16.993	16,993
Aceite de semillas de girasol	6.792*	6,792
Repollo	146	0,146
Tomate	260	0,26
Pepinos	355	0,355
Lechuga	259	0,259
Ají	337	0,337
Cebollas	271*	0,271
Habichuelas	562*	0,562
Zanahorias	161	0,161
Plátanos	1.762	1,762
Bananas	447	0,447
Guayaba	1.153	1,153
Bayas no especificadas (Mora)	413*	0,413
Mango	1.153	1,153
Piña	117	0,117
Carne Bovina	13.337	13,337
Carne Porcina	7.273	7,273
Carne Avícola (pollo)	3.513	3,513
*Promedio Global		
**Promedio en Colombia.		
El resto de los datos fueron tomados para el Departamentos de Córdoba		
Fuente: (Mekonnen y Hoekstra, 2012, 2010a, 2010b)		

ANEXO 18. Cantidad de almuerzos vendidos por tipo de almuerzo

Tipos almuerzos	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
semana 1	12.400	17.050	17.050	15.500	15.500	5.500
semana 2	12.400	15.500	15.500	13.950	15.500	5.500
semana 3	12.400	15.500	15.500	13.950	15.500	5.500
semana 4	12.400	15.500	15.500	13.950	13.950	5.500
Fuente: Elaboración propia						

ANEXO 19. Cantidad de alimentos por plato

GRUPO DE ALIMENTOS Y/O PREPARACIONES	ALIMENTOS	CANTIDAD g y cc	CANTIDAD Kg
SOPA	Cereal	12	0,012
	Plátano y Tubérculos	40	0,04
	Verduras	25	0,025
PROTEINA	Carne de res	75	0,075
	Pollo	75	0,075
	Cerdo	75	0,075
HARINA	Arroz	180	0,18
	Leguminosas	30	0,03
	Plátano amarillo, verde, yuca, ñame, papa	50	0,05
VERDURAS	Repollo, pepino, zanahoria, cebolla, tomate, habichuela, ají	50	0,05
FRUTA	Fruta entera o en jugo	20	0,02
AZUCAR		15	0,015
SAL		5	0,005
ACEITE		10	0,00917
Fuente: Bienestar Universitario, 2016			